REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

PENSIERI

SULLA PRECISIONE DELLE MISURE

DISCORSO

DEL SOCIO

ANNIBALE FERRERO

LETTO NELL'ADUNANZA SOLENNE DEL 5 GIUGNO 1892

ROMA
TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1892

Digitized by Google

Digitized by Google

Q185
F4

MAESTÀ,

Signore e Signori

I.

I sensi e la loro insufficienza.

« Col semplice sussidio dei sensi l'uomo ha acquistato una somma considerevole di cognizioni, e gli organi dei sensi stessi sono davvero meravigliosi strumenti di squisita sensibilità che lo pongono in contatto col mondo esterno.

« L'occhio, che di per sè solo costituisce un pregevole istrumento di ottica e può anzi considerarsi come modello naturale del telescopio, del microscopio e della macchina fotografica, percepisce la forma dei corpi, apprezza le distanze e istituisce confronti di ogni genere.

« Nella misura a stima delle distanze, quando queste non sono molto grandi, commette un errore relativamente piccolo; nella misura a stima dei piccoli corpi, specialmente se per confronto, può scorgere la differenza di un millimetro sopra cinquanta; in altri corpi ancora più piccoli può vedere la differenza di un ventesimo di millimetro sopra tre o quattro millimetri, può apprezzare se vi è o no contatto fra due punte o fra una linea ed una punta distanti fra loro qualche centesimo di millimetro ecc.

« Nell'apprezzamento della intensità dei colori può giungere pure ad alto grado di sensibilità, come ci è provato dalla scala cromatica adoperata dagli operai delle manifatture delle pietre dure, la quale contiene ben diecimila tinte diverse.

M291222 Digitized by Google

« L'orecchio distingue suoni corrispondenti a un numero di vibrazioni semplici compreso fra 32 e 70000 per secondo; nel confronto fra due suoni può scuoprire una vibrazione sopra mille, ed un orecchio bene esercitato sa distinguere la nota musicale commista ad un' armonia orchestrale, ed apprezzare se tutti i suoni di una orchestra incominciano e conservano debitamente il ritmo voluto, giungendo a percepire, anche in mezzo ad un grande insieme, la minima dissonanza. — Nè meno mirabili sono le sensibilità e le varie attitudini degli organi sensorî del tatto, del gusto e dell'odorato.

« Malgrado ciò è d'uopo peraltro riconoscere, che la potenza e la qualità dei nostri sensi è circoscritta in un campo relativamente ristretto di fronte alla infinita varietà ed entità dei fenomeni esterni, avendo la natura dotato l'uomo di organi adeguati ai soli bisogni della di lui vita animale.

« Inoltre bisogna pure riconoscere che, se i sensi posseggono l'attitudine a distinguere la entità delle impressioni, non riescono però a dare di esse una misura intesa nel vero significato della parola, giacchè hanno in loro stessi la causa di errore dovuta alla soggettività, la quale rende non comparabili le impressioni da un individuo all'altro, e neppure nello stesso individuo, quando variano le condizioni in cui questo si trova.

« Per applicare dunque la intelligenza allo studio dei fenomeni non compresi nella sfera accessibile ai propri sensi, l'uomo ha dovuto ricorrere agli strumenti, i quali aumentando considerevolmente la potenza dei sensi stessi, e, potrebbe ben dirsi, creandogli dei sensi nuovi, gli hanno dato modo di sottoporre a misura le impressioni, di paragonarle fra loro, e di allargare smisuratamente verso l' infinito e verso l' infinitesimo il campo delle sue investigazioni.

II.

Gli istrumenti e la loro influenza sul progresso scientifico.

« Fino da quando Galileo coll'applicazione su vasta scala del metodo sperimentale iniziò una nuova êra per la scienza, gli strumenti si sono moltiplicati e le scoperte più feconde si sono succedute.

« Puntando il suo cannocchiale nella volta celeste scuopre i satelliti di Giove, la luce cinerea della Luna, le fasi di Venere, le macchie solari, aprendo così nuovi ed infiniti campi alla moderna astronomia; ed inventando il Termometro dà origine alla scienza del calore. — Torricelli suo discepolo inventa nel 1643 il Barometro, oggetto di innumerevoli applicazioni e fondamento di importantissime ricerche. — Cristiano Huyghens applica il Pendolo di Galileo agli orologi facendo così il primo passo verso la moderna perfezione nella misura del tempo. — L' invenzione delle armi da fuoco dà

Digitized by Google

occasione a Gassendi di eseguire la prima misura della velocità del suono. — Cagniard Latour colla Sirena determina il numero delle vibrazioni corrispondenti ad un dato suono schiudendo così il campo a numerose ricerche acustiche.

« Newton scuopre la diversa rifrangibilità dei colori, segnando il principio di quel meraviglioso strumento d'analisi che è lo Spettroscopio; e Dollond, colla scoperta dell' Acromatismo, rende possibili i moderni potentissimi istrumenti di ottica, Microscopio e Telescopio, il primo dei quali, oltre ad entrare come ausiliario in moltissimi altri strumenti, ha svelato un nuovo mondo ai moderni studi micrografici così fecondi nelle scienze biologiche. — Lavoisier colla scorta sicura della Bilancia dà stabile fondamento alla Chimica, e Volta colla invenzione della Pila dà origine alla scienza della elettricità dinamica le cui portentose applicazioni scientifiche ed industriali sono divenute oggi fattore importantissimo di benessere sociale. — Young scuopre i fenomeni di interferenza luminosa divenuti oggi strumento di delicatissime misure che sfuggono a ogni altro mezzo per quanto delicato.

« Melloni colla Termo-Pila, che Heidenhein ha reso sensibile ai decimillesimi di grado centigrado, ha schiuso il campo alle più squisite misure differenziali di temperatura da cui trassero vantaggio non solo le scienze fisiche ma eziandio le scienze biologiche.

« La scoperta degli istrumenti registratori e le recenti applicazioni della fotografia all'astronomia ed alle scienze naturali in genere, fanno sperare che il giorno non sia lontano in cui i risultati delle osservazioni saranno immuni per quanto è possibile dall' influenza diretta dell'osservatore. — Lo scienziato leggerà nel libro della Natura le verità tracciate dagli stessi fenomeni da studiarsi. — L' Universo che si è sempre mostrato inaccessibile alla metafisica si piega docile e volenteroso alle ricerche della scienza moderna.

III.

Recenti scoperte dovute alla precisione e potenza degli strumenti.

« Grandi pensatori affermarono che la scienza non può considerarsi giunta a maturità se non quando le sue ricerche hanno acquistato carattere quantitativo; l'arte di misurare ha fatto in questo secolo i maggiori progressi; non solo venne aumentata la potenza e la precisione degli strumenti e dei metodi di misura, ma vennero eziandio sottoposti a misurazione fenomeni che non si sarebbe mai creduto di potere esprimere con cifre. — Così ad esempio nel campo astronomico fu scoperto, prima ancora di poterlo osservare, un compagno alla stella Sirio, e fu determinata la durata della sua rivoluzione intorno alla stella principale: così pure prima che col telescopio si vedesse il

Digitized by Google

pianeta Nettuno, i calcoli di Leverrier già ne avevano assegnata prossimamente l'orbita e la massa.

« Non starò a citare in quest'Accademia le belle scoperte sulla topografia di Marte e sulla rotazione di Mercurio e di Venere.

« Lo Spettroscopio ha recentemente servito a misurare la velocità radiale di alcuni astri, ed ha fatto inoltre scoprire la duplicità di alcune stelle e la durata della loro rivoluzione.

« Parimente la precisione crescente degli strumenti e la sempre maggiore accuratezza dei metodi hanno permesso di scuoprire fenomeni che si trovavano dapprima nascosti negli errori di osservazione; notevoli esempi di questo fatto sono la scoperta dell'aberrazione della luce, e della nutazione dell'asse terrestre; ed ora appunto gli astronomi stanno affinando all'ultimo grado possibile i loro procedimenti d'osservazione per accertare se i poli della rotazione terrestre occupano realmente sempre i medesimi punti della superficie, o non sono piuttosto soggetti a qualche spostamento misurabile.

« È argomento di compiacenza il confronto della precisione attuale nelle misure astronomiche con quella raggiunta dagli antichi Caldei e dagli astronomi alessandrini.

« I Caldei registravano una ecclissi coll'approssimazione di un' ora; oggi se ne preannunziano tutte le particolarità con un' approssimazione di pochissimi secondi.

« Gli astronomi alessandrini sbagliavano facilmente di dieci e di venti minuti nella determinazione di un astro o di una latitudine; oggi le posizioni degli astri, come pure le latitudini e le longitudini terrestri, si fissano con un'approssimazione inferiore al secondo di arco, tantochè può dirsi che la precisione realizzata oggidì è almeno mille volte più grande di quella dei Caldei.

« Si deve agli astronomi la prima idea della misura della velocità delle sensazioni nel corpo umano, e questo fu il punto di partenza di numerose ricerche da parte dei cultori della biologia, la quale così comincia a prender posto fra le scienze esatte.

« La possibilità di fare delicate misure differenziali di temperatura mediante la termo-pila ha servito a ricerche sulle temperature dei muscoli e del cervello in rapporto coi fenomeni fisiologici e psichici.

IV.

Influenza intellettuale della precisione delle misure.

« La precisione delle misure ha per risultato di produrre precisione nelle idee e rigore nelle definizioni.

« Nessun esempio può venire in acconcio a tal proposito quanto quello della sensazione dei colori.

Digitized by Google

« Col semplice aiuto dei sensi l'uomo definisce i colori in rapporto agli oggetti che ne producono la sensazione; le stesse denominazioni dei colori, violetto, celeste, indico, ecc., sono una prova di questo fatto.

« Ad un certo grado di sviluppo scientifico l'uomo osserva lo spettro prodotto da un prisma di cristallo, e tutte le gradazioni di colori si trovano disposte con ordine costante dinanzi ai suoi occhi. — Questo fenomeno è il punto di partenza per una definizione più oggettiva dei colori.

« Finalmente la scienza viene a dimostrare che la diversità dei colori è dovuta alla diversa lunghezza delle onde luminose, e così si addiviene a definire i colori per mezzo di cifre indipendenti in modo assoluto dalla struttura dei nostri sensi.

« Si definirà così p. e. il violetto quella tinta dello spettro solare per la quale la lunghezza d'onda è intorno e 4,23 decimillesimi di millimetro, oppure, che corrisponde ad un numero di vibrazioni dell'etere cosmico uguale a circa 728 trilioni per secondo; e così si definirà il rosso per quella tinta dello spettro solare, per la quale la lunghezza d'onda è intorno a 6,20 decimillesimi di millimetro, oppure che corrisponde a 497 trilioni di vibrazioni per secondo; e analogamente per gli altri colori intermedi.

V.

Generalità sugli strumenti.

« In generale gli strumenti di misura, qualunque sia l'uso cui sono destinati, risultano costituiti da parti elementari che sono esse medesime veri e propri strumenti, come cannocchiali, microscopî, cerchi graduati, viti micrometriche, nonî, livelle, termometri ecc.

« Uno dei maggiori meriti di un istrumento si è la perfetta armonia nelle sue parti per modo che ciascuna di esse sia uno strumento elementare di potenza e di precisione in giusto rapporto colla potenza e precisione dell' istrumento complesso.

« Questa perfetta armonia delle parti e questo loro adattamento allo scopo fanno sì che anche dal punto di vista estetico noi proviamo sovente una vera soddisfazione nel considerare gli strumenti moderni.

« Un istrumento di grande potenza e precisione destinato ad operazioni scientifiche di primo ordine e adoperato da uno scienziato che col medesimo aumenti di nuove scoperte il patrimonio della scienza, acquista una specie di individualità storica ed è intimamente associato alle scoperte ed allo scopritore. — L'osservatore è sempre convinto della potenza che gli vien conferita da un istrumento di scoperta e lo considera con affetto, quasi una parte di sè stesso; non farà dunque meraviglia se avendo io di recente

Digitized by Google

chiesta ad un illustre astronomo italiano la sua fotografia, egli ha creduto di mandarmi quella del suo grande Equatoriale.

VI.

Dei rapporti tra istrumenti, osservatorî e costruttori.

« L'opera dei costruttori di strumenti è tanto più efficace in quanto è fecondata dalla collaborazione di illustri scienziati. — Guglielmo Herschel fu ad un tempo costruttore ed osservatore; l'astronomo Piazzi e il meccanico Ramsden verso la fine del secolo passato con le loro combinate riflessioni giunsero a concludere che l'esattezza delle misure angolari non dipende soltanto dal grado di minutezza con cui si leggono le graduazioni, ma molto più dalla possibilità di eliminare gli errori di eccentricità e di divisione mediante la costruzione simmetrica del circolo intero e la lettura multipla degli angoli fatta col mezzo di più indici equidistanti.

« Fu questo forse uno dei passi più importanti compiuti nella costruzione degli strumenti astronomici dopo la sostituzione del Telescopio all'antica Diottra.

« Un altro esempio di progressi strumentali dovuti alla cooperazione dello scienziato e dell'artefice si ha nel moderno Equatoriale.

« L'equatoriale astronomico era già stato inventato dal P. Scheiner poco dopo l'invenzione del Telescopio; ma l'uso che se ne fece allora e per due secoli seguenti fin verso il 1820 fu nulla in confronto alle applicazioni multiple a cui oggi si fa servire l'Equatoriale, tanto come istrumento micrometrico di precisione, quanto come base di tutte le ricerche di astronomia fisica, specialmente della spettrometria e della fotografia celeste.

« Tale perfezionamento si deve pure ad un grande artista che fu in pari tempo un valente scienziato, al bavarese Fraunhofer, coadiuvato da quei due luminari dell'Astronomia tedesca che furono Bessel e Struve.

VII.

Dei prototipi delle misure di lunghezza e di massa.

« In un breve discorso non è possibile passare in rivista tutte le specie di misure, ma ci limitiamo a dare una idea della precisione delle misure fondamentali che sono quelle di lunghezza, di massa e di tempo.

« Le misure vengono definite da prototipi conservati in appositi stabilimenti.

Digitized by Google

« Le nazioni che appartengono all'Unione internazionale di Pesi e Misure prendono per fondamento i prototipi di lunghezza e di massa conservati all'ufficio internazionale di Breteuil presso Parigi.

« Le unità di misura vengono accuratamente comparate coi prototipi affinchè gli errori ai quali si andrebbe incontro nelle operazioni non vengano ripetuti indefinitamente.

« È dunque del massimo interesse avere una idea della precisione colla quale questi paragoni vengono eseguiti.

« Nelle più recenti comparazioni dei campioni del metro col protofipo internazionale le divergenze dalle medie rimasero sempre comprese nei limiti di $\pm$ 0,$^{\mu}$2 cioè di 1/5000 di millimetro, il che corrisponde ad un errore probabile di 1/20 di *micron*, cioè 1/20000 di millimetro.

« Questo risultato, che parrebbe incredibile, è dovuto alla finezza dei tratti, alla perfezione delle superficie, alla forma e composizione dei regoli, alla possibilità di mantenere lungamente costanti le temperature, ed alla grande precisione nella misura dei coefficienti di dilatazione, la quale misura costituisce di per sè sola una delle più belle applicazioni dei fenomeni di interferenza luminosa, ed è suscettibile di una precisione insperabile con qualunque altro metodo ([1]).

« Nel paragone dei pesi l'errore probabile delle misure è stato all'incirca di 4/1000 di milligrammo, ed un tal grado di precisione ha reso possibile di misurare presso lo stabilimento di Breteuil, come anche a Monaco dal von Jolly ed a Roma dal Keller, la variazione del peso per spostamenti di pochi metri in altezza.

« Benchè non sia questo il luogo di parlare delle misure termometriche, siccome queste sono intimamente connesse colle misure di precisione di lunghezza e di massa, così non parrà fuori di proposito accennare alla precisione delle misure termometriche eseguite nel citato stabilimento internazionale. — Tali misure sono suscettibili di un errore massimo di $\pm$ 0,01 di grado, il che si accorderebbe con un errore probabile di 0,002 di grado.

« L'ufficio internazionale di Pesi e Misure può essere chiamato a comparare i campioni metrici di tutte le nazioni coi prototipi conservati a Parigi, ma non potrebbe certamente centralizzare tutte le operazioni di campionatura necessarie alle operazioni scientifiche che si compiono nei vari Stati. Per questo motivo alcuni di questi Stati, e notevolmente la Prussia, posseggono stabilimenti propri che realizzano in parte le condizioni raggiunte con grande perfezione nello stabilimento internazionale. — Non si può a meno

([1]) In fatto di precisione nelle misure di lunghezze non possiamo trattenerci dall'indicare qui la determinazione delle lunghezze delle onde luminose con gli spettri di diffrazione. — Le lunghezze di onda, che sono comprese tra 4 e 7 decimillesimi di millimetro, determinate con l'errore probabile di un milionesimo del loro valore.

Digitized by Google

di osservare con rincrescimento che presso di noi non esista uno stabilimento neppure da lontano comparabile con quelli di cui si tratta.

VIII.

Delle misure di tempo.

« Per le misure di tempo l'uomo non ha dovuto ricorrere ad un prototipo convenzionale; esso gli fu offerto dalla Natura nel movimento apparente del Cielo. Questo fatto è così spontaneo che fino dai tempi più remoti gli uomini associarono indissolubilmente l'idea di tempo con quella del movimento degli astri.

« La meravigliosa invenzione del pendolo ha fornito il mezzo di suddividere pressochè indefinitamente l'unità fondamentale, cioè la durata della rotazione terrestre. Più degli altri gli astronomi abbisognano di esattezza nella misura del tempo e perciò i loro orologi, oltre ad essere costruiti con la massima accuratezza, sono oggetto di continuo paragone col moto degli astri.

« L'arte di determinare il tempo è portata al massimo grado di perfezione dagli astronomi nelle determinazioni delle differenze di longitudine; l'esperienza dimostra che in tali lavori l'errore commesso può ridursi a uno o due centesimi di secondo.

« Ma esistono strumenti che potrebbero chiamarsi i *microscopî del tempo*, come i cronoscopî di Hipp e altri simili, i quali permettono di frazionare il tempo fino ai millesimi di secondo.

« Le scienze biologiche hanno tratto gran partito da questi strumenti applicandoli alle misure dei tempi di reazione delle diverse eccitazioni sensitive e dei discernimenti, nonchè alla misura delle velocità di propagazione di un impulso nervoso lungo i nervi [1].

[1] Pei tempi di reazione delle diverse eccitazioni sensitive sono state trovate le seguenti cifre:

per il suono	136	millesimi	di	secondo
» la luce	150	»	»	»
» il tatto	133	»	»	»
» il sapore	359	»	»	»
» l'odore	443	»	»	»

e per quelli del discernimento:

localizzazione ottica di direzione	11	millesimi	di	secondo
distinzione dei colori	12	»	»	»
localizzazione dei suoni . . .	15-62	»	»	»
» del tatto . . .	21	»	»	»

Per la velocità di propagazione di un impulso nervoso 37^m per secondo.

Digitized by Google

« Parimenti la balistica si è servita dei cronoscopî nello studio delle velocità iniziali dei projetti e nel tracciamento dei diagrammi esprimenti le relazioni tra gli spazi, i tempi e le pressioni entro le bocche a fuoco (1).

IX.

Delle cause di errore nelle osservazioni.

« Le imperfezioni dei sensi, quelle inevitabili nella costruzione degli strumenti e le influenze esterne sono necessariamente cause di errori, i quali vengono generalmente classificati in costanti ed accidentali. Sarebbe però, a parer mio, più completa una classifica che tenesse espressamente conto di alcune cause aventi un carattere periodico.

« Che queste cause esistano tanto rispetto ai sensi dell'osservatore, quanto rispetto agli strumenti ed alle influenze esterne, è indubitato, giacchè le funzioni organiche umane sono eminentemente periodiche, ed è ben naturale che il grado di squisitezza dei sensi risenta di quei periodi; per questa parte entrano in considerazione quei numerosi strumenti i cui errori periodici vengono sempre studiati ed eliminati, od almeno attenuati, con convenienti metodi di osservazione. Le stesse influenze esterne, che paiono rivestire un carattere accidentale, per la massima parte hanno dei periodi più o meno definiti dall'avvicendarsi del giorno e della notte, della luce e dell'ombra, delle stagioni, delle perturbazioni atmosferiche ecc.

« Le cause degli errori periodici e di quelli accidentali si sovrappongono nei loro effetti, e gli errori che ne conseguono vengono attenuati colla ripetizione delle osservazioni ad intervalli di tempo convenienti ed in condizioni variate.

« Il calcolo delle probabilità dimostra che la precisione dei resultati, in quanto concerne l'eliminazione dei puri errori accidentali, aumenta colla radice quadrata del numero di osservazioni; e se andassimo alle estreme conseguenze di questo principio si dovrebbe essere certi di poter raggiungere qualsiasi grado di precisione, anche indipendentemente dalla perfezione relativa degli strumenti.

« L'esperienza però ci dice che al di là di un certo numero di osservazioni l'aumento di precisione è illusorio. Si crede generalmente che questo risultato dipenda, almeno in parte, dal fatto che oltre agli errori di carattere periodico ed accidentale ed a quelli costanti, che si eliminano correggendo le osservazioni, esistano altri errori di carattere costante che sfuggono all'analisi

(1) In recenti esperienze fatte all'Istituto fisico di Roma per lo studio del *diapason* internazionale si sono potuti misurare, senza servirsi dell'udito, pochi millesimi di vibrazione.

Digitized by Google

e dai quali non è possibile, malgrado la più grande accuratezza nell'osservare, rendere immuni le osservazioni. Una prova di ciò la troviamo nel fatto che in una rete trigonometrica l'errore probabile delle osservazioni angolari, calcolato in base al loro accordo colle rispettive medie, è in generale la metà circa di quello che loro risulta in base alle condizioni geometriche cui debbono soddisfare.

X.

Della critica delle osservazioni.

« Dopo l'adozione del metodo dei minimi quadrati la bontà relativa delle osservazioni viene sempre saggiata colla determinazione del loro *errore medio* o dell'*errore probabile* che è all'incirca 2/3 dell'errore medio; ma ad avere una idea completa della bontà di un sistema di osservazioni, è anche necessario di conoscere il valore assoluto delle massime divergenze in più od in meno rispetto al valore medio. La legge degli errori ammessa generalmente dai matematici assegna un grado di possibilità (per quanto piccolissimo) anche agli errori che tendono verso l'infinito. Eppure l'esperienza dimostra che per ogni specie d'osservazione il massimo errore non eccede mai un certo limite che è una funzione dell'errore medio. Esperienze numerose fatte eseguire da chi vi parla hanno condotto al risultato che l'errore massimo delle misure angolari non oltrepassa mai il triplo dell'errore medio, ossia quattro volte e mezzo circa l'errore probabile. Prendendo per base la legge degli errori di Gauss vi sarebbe da scommettere *mille* contro *uno* che non si presentino errori maggiori di 3,2 l'errore medio.

« Un analogo criterio si può applicare ad ogni specie di osservazioni ed ha servito di base per stabilire le tolleranze nelle misure del Catasto italiano.

« I valori dell'errore medio e degli errori massimi debbono però essere il risultato di numerose statistiche, non già di poche osservazioni. Una statistica simile fu raccolta, dietro mia richiesta, dai vari Stati che fanno parte dell'Associazione geodetica internazionale, e l'esame di essa conduce a dimostrare la grande omogeneità dell'insieme dei lavori di detta Associazione.

XI.

Della compensazione.

« Allorquando le osservazioni devono soddisfare rigorosamente a certe condizioni, queste offrono non solo un controllo delle osservazioni medesime, ma eziandio la possibilità di ottenere per esse un valore più plausibile.

« Per fissare le idee supponiamo che le condizioni da soddisfare esprimano proprietà geometriche di figure misurate; se le osservazioni non sodi-

Digitized by Google

sfano a queste condizioni geometriche si deve conchiudere che le osservazioni stesse sono geometricamente incompatibili. Per fare sparire questa incompatibilità si fanno alle osservazioni delle correzioni, e qui sorge la questione di sapere se questa operazione (che si chiama *Compensazione*), è legittima o non lo è. Perchè questa compensazione sia giustificata bisogna che le osservazioni *corrette* siano ancora possibili come osservazioni, altrimenti per cercare la possibilità geometrica perderemmo la possibilità di fatto come osservazioni. Ora le osservazioni corrette sono ancora possibili se il valore assoluto delle correzioni a cui si assoggettano è inferiore al valore degli errori massimi possibili nel genere di osservazioni che si considera. Per cui, quando ciò sia, la compensazione sarà una operazione legittima, qualunque sia del resto il metodo cui essa è informata. Per seguire un metodo semplice, elegante è d'accordo coi dettami del calcolo delle probabilità si suole ricorrere a quello detto dei *minimi quadrati*, e l'esperienza dimostra che le correzioni che vengono applicate alle singole osservazioni sono sempre comprese nei limiti degli errori da cui le medesime sono affette; il che equivale in certo modo a dire, che col mezzo della compensazione non facciamo altro che scegliere tra le osservazioni realmente eseguite quelle che non sono incompatibili colle condizioni da sodisfare.

XII.

Dell'osservatore.

« Si ha l'abitudine nella rettorica moderna d'invocare la così detta *eloquenza delle cifre*. Coll'appoggio dei numeri si suole convincere altrui delle verità che si sostengono.

« Questo modo di ragionamento deve però essere escluso, quando le cifre che si enunciano in appoggio non sono avvalorate dal credito di colui che le ha raccolte; il nome dell'osservatore è dunque il battesimo delle osservazioni. Quando si fa la critica di un lavoro fondato sopra osservazioni numeriche si deve domandare chi le ha fatte, con quali mezzi, con quali metodi, e qual grado di precisione si deve attribuire ai risultati.

« In tutto questo ha parte principalissima l'osservatore, e non è perciò fuori di luogo far rilevare le qualità che esso deve possedere.

« L'osservatore deve in primo luogo avere qualità fisiche tali da potersi convenientemente servire dei sensi che concorrono alle osservazioni. Egli deve colla cura di sè stesso mantenersi sempre pronto ad approfittare delle condizioni propizie per osservare. Coll'esercizio esso giunge a perfezionare la squisitezza de' suoi sensi e l'abilità nel maneggio degli strumenti. — Deve inoltre avere mente chiara, giusto criterio, e preparazione scientifica in rap-

Digitized by Google

porto colle ricerche che intraprende. Coscienzioso ed appassionato per il vero, dev'essere in alto grado dotato di pazienza e di costanza per tollerare e superare le circostanze sfavorevoli in attesa delle propizie; infine concentrato nelle sue ricerche deve sapersi astrarre dall'ambiente in cui vive e possedere uno spirito così spassionato da sottoporre sè stesso a critica veramente oggettiva.

« Questo l'osservatore:

« Vedetelo ora tutto intento alle sue investigazioni, maneggiare con coscienziosa trepidazione quell'istrumento che forse egli stesso ha inventato, e nel quale ad ogni modo in quel momento è tanta parte di lui medesimo! Egli può riuscire, come sempre succede nelle cose umane, ad un trionfo od anche ad una disfatta. Ma se pure le sue ricerche riescono vane, nessuna conseguenza disastrosa sarà subìta dalla sua patria; egli non avrà che a ripetere, ove possibile, le sue osservazioni con maggior cura o con apparati migliori. Consideriamo invece un istrumento vivo, palpitante, come un esercito, un'amministrazione, insomma una riunione d'uomini destinati ad una impresa collettiva; allora l'istrumento stesso merita più di ogni altro di essere studiato ed adoperato con accuratezza e coscienza, perchè in questo caso un *errore di osservazione* ha conseguenze assai maggiori che non nelle scienze puramente fisiche e può costare sudore infinito ed anche sangue inutilmente versato.

XIII.

Delle Associazioni internazionali a scopo di misura.

« Vi sono operazioni di misura che per la loro entità e per i mezzi che richiedono non possono essere eseguite da una o da poche persone, ma solo dai governi. Tali sono le grandi operazioni trigonometriche, topografiche, cartografiche, idrografiche ecc.

« In Italia simili operazioni sono affidate ad istituti scientifici, come il Geografico Militare, l'Idrografico della R. Marina ecc.

« Altre operazioni che si estendono ad un campo più vasto vengono eseguite da Associazioni internazionali, come l'Associazione Geodetica, l'Unione di Pesi e Misure, l'Associazione per la Carta fotografica del cielo ecc.

« Sarebbe prezzo dell'opera parlare diffusamente di queste associazioni, ma la natura di questo discorso non lo consente. Mi basta accennare che esse sono un organo potentissimo di progresso e che la scienza può a giusto titolo attendere grandi risultati da esse, giacchè con lo scambio continuo di pensieri tra i rappresentanti scientifici dei vari paesi gli strumenti, ed i metodi di osservazione e di calcolo tendono ad uniformarsi ed a raggiungere l'altezza dei migliori.

Digitized by Google

« Si deve principalmente all'Associazione Geodetica internazionale se oggi nel mondo intero sono applicati i metodi di Gauss, di Bessel, di Struve ecc. non solo nelle operazioni di Astronomia e di alta Geodesia, ma eziandio in qualsiasi ramo di misura.

XIV.

Della economia nei lavori di misura.

« Per alcune ricerche scientifiche la precisione dei metodi non salirà mai ad un grado sufficiente in rapporto allo scopo da raggiungere. Ad esempio nell'Astronomia le misure eseguite sulla Terra saranno sempre moltiplicate per coefficienti così grandi, in ragione delle distanze cosmiche, che le precisioni conseguibili in questo campo lascieranno sempre a desiderare di fronte a quelle delle misure terrestri; ma sarebbe anche imprudente asserire, che nella fisica, nella chimica e nelle altre scienze vi sia un limite soddisfacente nella precisione delle osservazioni; ci possiamo sempre aspettare una nuova scoperta da una maggiore precisione nelle misure. Tuttavia vi sono operazioni la cui precisione non deve tendere all'assoluto, ma sivvero ad una misura adeguata allo scopo da raggiungere.

« Quando si pensa che le misure applicate ad operazioni di grande estensione hanno per conseguenza delle spese considerevoli, ne scaturisce la questione di commisurare i mezzi alla precisione da raggiungere. Nelle misure trigonometriche, anche per scopi di alta importanza scientifica, è sufficiente che la precisione dei risultati sia in giusto rapporto colla precisione che possono dare le determinazioni astronomiche di latitudine, di longitudine e di azimut; quindi il sacrificare tempo, lavoro, istrumenti e denaro per superare un certo limite di precisione sarebbe opera vana.

« Nelle misure per la costruzione di carte geografiche e topografiche vi sono limiti di precisione imposti dalla natura stessa del problema; in altre misure di ordine inferiore, come quelle del Catasto, i limiti di precisione possono essere allargati, ma nondimeno devono rimanere subordinati ai medesimi principî scientifici.

« Agli scienziati è noto che questa possibilità di adattare i mezzi allo scopo in modo che alla precisione desiderata corrisponda il minimo di lavoro, risulta da due elementi essenziali; il primo è la conoscenza delle condizioni teoriche del problema, il secondo la conoscenza di dati sperimentali raccolti in lavori consimili.

« In una conferenza geodetica tenuta a Monaco nel 1880 ho dimostrato che si poteva calcolare *a priori* il peso e la precisione di un lavoro geodetico non ancora eseguito, conoscendo i metodi e gli strumenti da adoperarsi nel

Digitized by Google

medesimo. I principî sviluppati in quella Memoria sono fondati sul calcolo di probabilità e sulla statistica degli errori riscontrati nelle operazioni trigonometriche conosciute. Questi principî, accettati ormai nella scienza, non possono rimanere confinati nelle regioni della scienza stessa, ma debbono bensì entrare nella pratica di qualsiasi lavoro a base di misura; dal che consegue che il raccogliere dati statistici dai lavori altrui e l'aggiungere ai medesimi quelli da noi raccolti nella esecuzione delle operazioni è opera di onestà scientifica.

XV.

Di una scienza delle misure.

« Dal fin qui detto risulta che nelle scienze di osservazione che hanno scopo di misura le qualità dell'osservatore, lo studio e l'uso degli strumenti, i metodi di misura e l'esame critico dei risultati sono sottoposti ai medesimi principî qualunque sia il ramo di scienza cui le misure sono destinate.

« Molti trattati di Astronomia, di Geodesia, di Fisica sono preceduti da teorie sugli istrumenti e sulla compensazione degli errori. Vi sono altresì trattati che parlano di logica induttiva in generale e sviluppano molti principî utili nelle scienze di osservazione, ma, che io sappia, non esiste una scienza che tratti delle misure in generale come preparazione a tutte le scienze che si propongono ricerche quantitative.

« I libri e periodici tedeschi che hanno per titoli; *Vermessungskunde*, *Vermessungswesen* etc. ed in generale tutti i libri che si intitolano all'arte di misurare, si riferiscono generalmente a misure geodetiche e topografiche. Mi si permetta dunque di esprimere il voto che questa importante lacuna nella letteratura scientifica venga colmata. Gli elementi di questa scienza esistono ed hanno bisogno soltanto di essere riuniti in modo organico per costituire un tutto compatto ed armonico.

« Chi si accingesse a questo lavoro farebbe opera non solo scientifica ma anche morale, perchè una scienza simile avrebbe un carattere educativo. L'amore del vero, l'accuratezza delle osservazioni, la costanza delle ricerche, l'oggettività delle critiche e dei giudizî sui risultati ottenuti sono ugualmente indispensabili nella vita scientifica come nella vita pratica. Ciò che in un campo si chiama *Precisione*, nell'altro si chiama *Giustizia*; risultati ugualmente desiderabili ma disgraziatamente non egualmente facili a raggiungere.

Digitized by Google

MAESTÀ,

Signore e Signori

« I risultati raggiunti dalla scienza moderna nelle sue applicazioni alla vita sociale ed individuale sarebbero tali da rendere orgogliosa l'umanità; ma quando si pensa che questi progressi sono l'opera di pochi uomini, mentre la maggior parte di coloro che ne approfittano non li sanno nè comprendere nè apprezzare, nasce spontanea la questione di sapere se alcuni principî scaturiti dalle rivoluzioni e dal voto delle moltitudini possano reggere alla critica scientifica.

« L'uguaglianza virtuale tra gli uomini scaturisce più ancora dalle religioni che dalla scienza; il pensatore sa benissimo che mentre le disuguaglianze sociali tendono a scomparire accade un fenomeno che è in contradizione, almeno apparente, con questa tendenza. Basti riflettere che la scienza aumenta la differenza intellettuale che esiste fra gli uomini, tantochè la distanza che separava Carlo V o Luigi XIV da un uomo del loro tempo era molto inferiore a quella che separa oggi un Helmholtz, un W. Thomson, un Pasteur, uno Schiaparelli dalla media dei mortali.

« In tale stato di cose ci sentiamo attratti da un ideale ancora più alto, e questo ideale è la Giustizia compagna inseparabile della Verità e della Fedeltà ».

Digitized by Google

Digitized by Google